

استفاده از نانوفناوری در ازدیاد برداشت از مخازن

۱- احسان شکاریان ۲- آرش نادری*

۱- ایران، شرکت ملی نفت ایران، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق

۲- ایران، آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر، گروه مهندسی شیمی

a.naderi1387@gmail.com

چکیده

به سبب رشد روزافزون تقاضا در صنعت نفت، استفاده از روشهای ازدیاد برداشت از مخازن نفتی برای پاسخگویی به نیاز جوامع امری ضروری است. امروزه فناوری نانو با سرعت زیادی رو به رشد است و سهم قابل توجهی را در پیشرفت‌های فناوری در بسیاری از صنایع و نیز در حوزه‌های مختلف نفت و گاز نظیر اکتشاف، حفاری، ازدیاد برداشت و پالایش و پخش به خود اختصاص داده است. در این مقاله تاثیر استفاده از نانوذرات، نانوامولسیونها، نانوفیلترها، نانوژلها، نانوحسگرها، نانوروباتها، نانوردیابها و نانوکاتالیزورها در ازدیاد برداشت از مخازن نفتی و پیشرفت‌ها و دستاوردهای جدید در این زمینه پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که نانوفناوری با ارتقاء ژئومکانیک مخزن و اصلاح کشش سطحی در کنار بهبود و اصلاح مخازن نفتی دارای پتانسیل لازم برای تغییر و اصلاح روش‌های معمول ازدیاد برداشت می‌باشد و امروزه نظر بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است.

کلمات کلیدی: نفت، نانوفناوری، ازدیاد برداشت، سیالات هوشمند، ویسکوزیته

۱- مقدمه

پاسخگویی به رشد روزافزون تقاضا در صنعت نفت به دو روش امکان‌پذیر است: با یافتن منابع جدید هیدروکربنی و یا با ازدیاد برداشت از مخازن نفتی موجود. افزایش راندمان تولید با اصلاح روش‌های ازدیاد برداشت درحالی‌که روند اکتشاف میادین نفتی جدید در حال کاهش است و بسیاری از میادین نفتی نیز در مراحل نهایی تولید خود قرار دارند کاملاً بدیهی است؛ چرا که در بسیاری از مخازن جهان حدود دوسوم از نفت درجا را نمی‌توان به روش‌های متداول استخراج نمود [۱].

در سالهای گذشته پژوهشهای زیادی چه در مقیاس آزمایشگاهی و چه در مقیاس صنعتی جهت شناخت اثر تزریق سیالات در حرارت بالا به داخل مخازن نفت سنگین و یا ایجاد حرارت در داخل مخزن از طریق سوزاندن مقداری نفت درجا و نیز روشهای غیرحرارتی ازدیاد برداشت از مخازن سنگین انجام گرفته است. روشهای متداول ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین به دودسته کلی روشهای حرارتی و غیرحرارتی تقسیم میشوند [۲]. روش‌های ازدیاد برداشتی که در حال حاضر تا حدودی موفق بوده‌اند عبارت‌اند از [۱]:

۲- استفاده از فناوری نانو در ازدیاد برداشت نفت

۲-۱- استفاده از نانوذرات

۲-۱-۱- تغییر ترشوندگی سنگ مخزن

یکی از روش‌های ازدیاد برداشت استفاده از نانوذرات برای

بهبود توانایی آن برای جریان یافتن از درون مخزن میباشد. ۲- تزریق گاز مانند گاز طبیعی، دی‌اکسید کربن و نیتروژن که در مخزن منبسط شده و باعث حرکت نفت به سمت دهانه چاه می‌شود. تزریق گازهای دیگر نیز که در نفت حل شده و ویسکوزیته آن را کاهش می‌دهد می‌تواند حرکت نفت را در داخل مخزن آسان‌تر کند. ۳- تزریق مواد شیمیایی مانند مواد فعال سطحی که برای کاهش کشش سطحی بکار می‌روند تا از تشکیل قطره‌های نفت در اثر عبور نفت از مخزن جلوگیری شود. باین‌حال هرکدام از این روش‌ها به دلیل بالا بودن هزینه یا در برخی موارد عملکرد و بازده ضعیف در برداشت از مخازن کنار گذاشته می‌شوند. عملیات بهره‌برداری از چاهها، شامل کلیه فعالیت‌هایی است که منجر به تولید، حفظ و افزایش آن میشود. به‌طور یقین، استفاده از فناوری نانو میتواند موجب تسهیل و تسریع عملیات و درنهایت منجر به افزایش تولید از چاهها شود [۳].





تغییر ترشوندگی سنگ مخزن است که متعاقباً برداشت بیشتر از مخزن را به همراه دارد. آزمایشات انجام گرفته بر روی مغزه کربناته اشباع شده با آب شور و نفت که تحت تزریق آب شور و نانوذرات SiO_2 (با اندازه ۱۴ نانومتر در دو غلظت متفاوت) قرار گرفت، تغییر در میزان ترشوندگی سنگ کربناته را نشان می دهند. نتایج حاکی از کاهش زاویه تماس با افزایش غلظت نانوذرات می باشد که نشانه افزایش آبدوستی مغزه کربناته است و افزایش ترشوندگی مغزه را به دنبال دارد [۴].

Bishhan و همکاران [۵] به تأثیر نانوذره های آبدوست لیپوفیلیک پلی سیلیکون (LHP) بر میزان ترشوندگی سنگ مخزن پرداختند. نتایج نشان داد هنگامی که LHP در یک محیط متخلخل تزریق شود ۴ پدیده اتفاق می افتد که عبارتند از: جذب، دفع، انسداد و انتقال. این چهار پدیده سه اثر عمده بر طبیعت جریان نفوذی در سنگ مخزن دارند. ابتدا دیواره های آب گریز حفرات به واسطه جذب سطحی LHP آبدوست شده و نفوذپذیری نسبی فاز نفت افزایش می یابد. دوم به واسطه جذب سطحی LHP و تغییر ترشوندگی منجر به جابجایی نفت از حفرات کوچک میشود که هر دو اثری مطلوب بر افزایش برداشت خواهند داشت. اثر نهایی که تأثیری نامطلوب بر برداشت نفت از مخزن دارد جذب LHP بر سطح متخلخل و انسداد دهانه حفرات است که میتواند به کاهش تخلخل و نفوذپذیری کلی محیط منجر شود.

Onyekonwu و Ogolo [۶] توانایی سه نوع متفاوت از نانوذرات پلی سیلیکون (PNSP) را در ازدیاد برداشت مطالعه کردند. نتایج آزمایشات انجام گرفته به وسیله PNSP و سیال حامل (اتانول) نشان داد که NWP و HLPN واسطه های خوب برای افزایش برداشت می باشند. دو مکانیسم که توسط NWP و HLPN باعث ازدیاد برداشت می گردد شامل تغییر در ترشوندگی سنگ مخزن و کاهش کشش سطحی به وسیله اتانول بهبود یافته می باشد.

۲-۱-۲ تأثیر بر ویسکوزیته

از دیگر کاربردهای نانو فناوری می توان به تغییر ویسکوزیته سیالات تزریقی به فاز نفت شامل آب، CO_2 و یا محلول های سورفکتانت در شکل سیالات هوشمند نام برد [۷]. منابع نفتی سنگین بخش عمده ای از منابع نفتی به شمار می آیند که به دلیل مشکلات استخراج ناشی از بالا بودن ویسکوزیته تا حدود زیادی دست نخورده باقی می ماند، لذا محققین با

استفاده از روش های ازدیاد برداشت همواره سعی در کاهش ویسکوزیته آن ها دارند.

از موارد مؤثر در ازدیاد برداشت ویسکوزیته سیالی است که به مخزن تزریق می شود تا نفت را جابجا کند که معمولاً کمتر از ویسکوزیته نفت می باشد. افزودن نانوذرات می تواند ویسکوزیته سیال تزریق شده را بر روی میزان بهینه تنظیم کرده و حرکت در مخزن را بهبود بخشد و بدین ترتیب بازدهی برداشت نفت را افزایش دهد. نتایج مطالعات [۸] نشان میدهند که ویسکوزیته دی اکسید کربن با افزودن ۱ درصد از نانوذرات اکسید مس (CuO) و مقدار کمی از توزیع کننده تقریباً ۱۴۰ برابر ویسکوزیته دی اکسید کربن معمولی است؛ بنابراین با پاشیدن چنین نانوذراتی در سیالات دی اکسید کربن پیشران میتوان به تحرک پذیری مطلوب و بازدهی جاروبی بالا دست یافت که منجر به برداشت بیشتر نفت از مخازن میگردد.

Shah و Rashee [۸] دودسته آزمایش به منظور بررسی اثر نانوذرات بر کاهش ویسکوزیته نفت سنگین انجام دادند. دسته اول با استفاده از نانوسیال CO_2 متشکل از گاز دی اکسید کربن به عنوان سیال پایه و نانوذره CuO و پلی دی متیل سیکلوکسان (PDMS) به عنوان توزیع کننده و دسته دوم با استفاده از نانوسیال VRI متشکل از سیال کاهنده ویسکوزیته (VRI) به عنوان سیال پایه و نانوذره CuO و پلی دی متیل سیکلوکسان (PDMS) به عنوان توزیع کننده.

آزمایشات سیلاب زنی مغزه که با تزریق دی اکسید کربن بر روی یک نمونه مغزه Berea یک بار به تنهایی و بار دیگر به همراه نانوذره اکسید مس صورت گرفت، نشان داد که تزریق دی اکسید کربن به تنهایی به ۵۸ درصد باز یافت نفت منجر میشود، حال آنکه با استفاده از نانوذرات CuO این میزان تا ۷۱ درصد قابل افزایش است. همچنین نتایج حاکی از آن است که با افزایش PDMS و نانوذرات CuO به سیال تزریقی پایه دی اکسید کربن، دانسیته و ویسکوزیته سیال تزریقی کاهش می یابد که موجب کاهش تحرک سیال تزریقی و افزایش راندمان جاروبی میگردد که در نهایت بهبود باز یافت نفت را به دنبال دارد. همچنین استفاده از PDMS و نانوذرات CuO می توانند ویسکوزیته نفت سنگین را به میزان چشمگیری کاهش دهند و جریان یافتن نفت را تسهیل کنند [۸].

به منظور بررسی اثر اندازه نانوذرات بر کاهش ویسکوزیته، نمونه های نفت سنگین با غلظت های متفاوتی از ذرات آهن

در اندازه‌های میکرو و نانو در دماهای مختلف مقایسه شدند. نتایج حاصل کاهش بیشتر ویسکوزیته نانوذرات را نسبت به میکروذرات نشان دادند [۹]. این اثر را می‌توان به‌واسطه سطح ویژه بزرگ‌تر نانوذرات دانست که واکنش‌پذیری بیشتر آن‌ها را در مقایسه با میکروذرات منجر می‌شود؛ به عبارت دیگر سطح بزرگ‌تر ذرات، افزایش تماس سطح ذرات با فاز نفت و در نتیجه برهمکنش بهتر دو فاز را نتیجه می‌دهد.

۲-۱-۳ اثر بر کشش سطحی سیال تزریقی

افزودن نانوذرات به محلول سورفکتانت باعث تغییر خواص رئولوژیکی و افزایش اثر محلول سورفکتانت در عملیات ازدیاد برداشت می‌گردد. munshi و همکاران [۱۰] نشان دادند که حضور نانوذرات باعث کاهش مقدار کشش سطحی در سطح مشترک نفت/سورفکتانت می‌گردد که آن را می‌توان به علت وجود نانوذرات در سطح مشترک نسبت داد.

نتایج [۱۱] حاصل از آزمایشات انجام‌گرفته توسط Su-leimanov و همکاران با استفاده از محلول سورفکتانت (سورفکتانت، سولفونات سدیم لوریل الکیل سولفونات) و نانوذرات نشان داد که کشش سطحی در حضور ۰/۰۷۸-۰/۰۰۴ درصد جرمی از محلول سولفوناتل به میزان ۷۹-۷۰ درصد کاهش می‌یابد و چنانچه غلظت سولفوناتل بیش از ۰/۱۵۶ شود این مقدار کمتر می‌شود (۹۰-۸۸ درصد).

هدف اولیه از استفاده از سورفکتانتها در عملیات استخراج و تولید از مخازن، کاهش کشش سطح و بهبود عملیات جداسازی سیال، تصحیح ترشوندگی سنگ مخزن و تبدیل آن از حالت نفت دوست به آب‌دوست که خود سبب تسهیل فرآیند جداسازی سیال هیدروکربوری از سازند می‌گردد و نیز کاهش ویسکوزیته نفت می‌باشد. درعین حال این امر سبب متورم شدن و افزایش قطر و فضای بین لایه‌ها با استفاده از عرض زنجیره‌های طویل سورفکتانت می‌شود که به نوبه خود مسیرهای فیلتراسیون سیال را مسدود می‌کند. همچنین سورفکتانت‌های با ابعاد بزرگ به دلیل ساختار نامناسب در فواصل ابتدائی سازند جذب‌شده و یا تأثیر معکوسی بر ترشوندگی دارند؛ بنابراین برخی خصوصیات این مواد سبب کاهش تأثیر آن‌ها در پائین آوردن فشار موئینگی می‌گردد. درحالی‌که هدف، کاهش فشار موئینگی و افزایش تراوائی سازند در ازدیاد برداشت می‌باشد. امروزه استفاده از نانوسورفکتانت‌ها به دلیل اندازه کوچکتر و سطح فعال بیشتر سبب بهبود فرآیند استفاده از این مواد گردیده است. زمانیکه

ابعاد این مواد در محدوده نانومتری قرار می‌گیرد، توانائی آنها برای نفوذ به درون حفرات سازند و نیز سطح فعال آنها افزایش چشم‌گیری می‌یابد. این مواد بصورت گسترده‌ای بر روی کشش سطحی سیال مخزن اثر گذاشته و میزان ویسکوزیته آن را کاهش می‌دهند. در این حالت سیالی که ویسکوزیته آن در داخل مخزن و چاه کاهش یافته باشد، سبکتر شده و بهتر در مسیر خروج از چاه جریان یافته و از سایر مواد موجود در چاه جدا می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهند که سورفکتانتها بر روی نانوکمپلکسها و ترکیبات پیچیده موجود در چاه تأثیر گذاشته و ساختار مخزن را تغییر می‌دهند. در این حالت توانائی نفوذ سورفکتانت در بین لایه‌های سازند امری بسیار مهم می‌باشد [۱۲].

۲-۱-۴ اثر بر امولسیون‌ها

یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش ویسکوزیته امولسیون سازی است، اما روش‌هایی که در حال حاضر برای امولسیون سازی بکار گرفته می‌شود بسیار گران بوده و یا برای استفاده در مقیاس بزرگ عملکرد ضعیفی دارند. استفاده از نانوذرات را می‌توان راه‌حلی برای این مشکلات دانست. امولسیون‌های پایدار شده با نانوذرات به‌واسطه بسیاری از خصوصیات و مزایای خاص نسبت به امولسیون‌های پایدار شده با روش‌های متداول توسط سورفکتانتها یا ذرات کلئیدی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. امولسیون‌های نفت در آب و آب در نفت که با نانوذرات سیلیکا با اندازه‌های مختلف پایدار گردیدند، بررسی‌شده‌اند. به‌طور کلی امولسیون‌های آب/نفت پایدار شده با سورفکتانتها در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. امولسیون‌ها همچنین با ذرات جامد که پایدارکننده نامیده می‌شوند نیز تولید می‌گردند ولی به سبب وجود ذرات جامد که به‌صورت ذرات کلئیدی با اندازه‌های میکرونی هستند و به‌راحتی در حفرات سنگ به دام می‌افتند، بندرت در صنعت نفت استفاده می‌شوند. در این میان نانوذرات خصوصیات مفیدی برای عملیات ازدیاد برداشت در صنعت نفت دارند. قطرات امولسیون‌های پایدار شده با آن‌ها به سبب اندازه کوچک به‌راحتی از حفرات عبور می‌کنند و جریان از میان سنگ مخزن بدون برگشت^۱ زیادی انجام می‌گیرد. بعلاوه این امولسیون‌ها می‌توانند برای چندین ماه بدون انعقاد پایدار باقی بمانند.

1. Retention





آن‌ها همچنین به سبب جذب برگشت‌ناپذیر نانوذرات روی سطح قطرات توان تحمل شرایط سخت مخزن را دارند. به‌علاوه ویسکوزیته بالای امولسیون‌های پایدار شده با نانوذرات می‌تواند به نسبت تحرک پذیری در حین عملیات سیلابزنی کمک کند که بدین ترتیب روشی بادوام برای حرکت دادن نفت‌های بسیار ویسکوز از زیر سطح‌ها را فراهم می‌آورند [۱۳].

Qiu و همکاران [۱۴ و ۱۵] از امولسیون‌های پایدار شده با سورفکتانت و نانوذرات بر روی دو مغزه متفاوت بانام‌های Bera و Idaho استفاده کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که این نوع سیلاب زنی امولسیونی نقش بسزایی در عملیات ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین آلاسکا، کانادا و ونزوئلا پس از تولید ابتدایی که نفت سنگین دارای تحرک پذیری ضعیف تحت شرایط مخزن بوده و به سبب شرایط اقلیمی و تکنیکی برای استفاده از روش‌های بازیافت حرارتی مناسب نمی‌باشد.

علاوه بر این نتایج آزمایشات سیلاب زنی مغزه Bera حاکی از آن است که بازیافت نفت در سیلابزنی نانوسیال به‌صورت خالص کمی بهتر از سیلابزنی توسط نانوسیال به دنبال سیلابزنی توسط آب است که این امر را به تأخیر زمان breakthrough ایجادشده به سبب تشکیل امولسیون نفت خام ویسکوزتر نسبت دادند.

بررسی‌های انجام‌گرفته بر روی تعادل و پایداری امولسیون‌های پایدار شده به‌وسیله ذرات کلئیدی و نانوذرات توسط Binks و Horozov (۲۰۰۶)، Fuller و همکاران (۲۰۰۶)، Lopetinsky و همکاران (۲۰۰۶) و hunter و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که غلظت ذرات یک پارامتر کلیدی در کنترل پایداری امولسیون‌هاست، بدین ترتیب که افزایش در غلظت ذرات باعث افزایش در حجم و پایداری امولسیون می‌گردد. همچنین نتایج حاصله حاکی از آن است که متوسط اندازه قطرات امولسیون نیز با افزایش غلظت کاهش می‌یابند که امکان قرارگیری ذرات بیشتر در سطح مشترک را فراهم می‌آورند [۱۶]. نتایج مطالعات انجام‌گرفته بر روی امولسیون‌های CO_2 فوق بحرانی در آب توسط Dick-son و همکاران و امولسیون آب در CO_2 فوق بحرانی توسط Adkins و همکاران موردتوجه خاص برای دیگر فرایندهای ازدیاد برداشت هستند. آن‌ها برای تولید امولسیون‌های آب CO_2 / آب متشکل از ۱ تا ۵۰٪ وزنی نانوذره سیلیکا را با CO_2 در دمای $25^\circ C$ و فشارهای متغیر بین ۳۴ و ۷۰۰

بار مخلوط نمودند. نتایج حاصل نشان داد که پایداری امولسیون‌ها با افزایش غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد. Ad-kins و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که امولسیون‌های آب در CO_2 می‌توانند با ذرات سیلیکای آب‌گریز با قطر کمتر از ۱۰ نانومتر پایدار شوند. امولسیون‌های آب در CO_2 متشکل از نانوذرات بسیار پایدار بوده و یک لایه فشرده از نانوذرات را در سطح مشترک آب/ CO_2 قطره تشکیل می‌دهند و توانایی غلبه بر بسیاری از محدودیت‌ها از قبیل توان پایداری در شرایط دمایی و شوری بالا که امولسیون‌های پایدار شده با سورفکتانتها با آن مواجه هستند را دارند [۱۶].

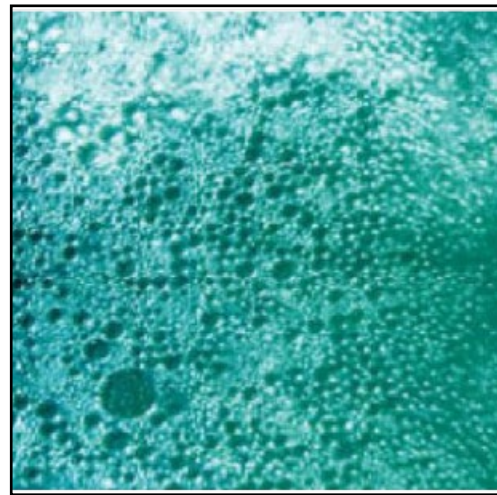
T. Zhang و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه بر روی امولسیون‌های آب/نفت پایدار شده با استفاده از نانوذرات سیلیکا اصلاح سطح شده پرداختند. نتایج نشان داد که این امولسیون‌ها برای هفته‌ها در شرایط دمایی اتاق و بالاتر به‌صورت پایدار باقی می‌مانند؛ که علت این امر را به سبب وجود نانوذرات اصلاح سطح شده توسط پلیمر پلی‌اتیلن اکسید نسبت دادند.

۲-۲ استفاده از نانوامولسیون‌ها

نانوامولسیون یکی از سیالات هوشمند است که می‌تواند نفت‌های خام باقیمانده در قعر سنگ مخزن را بازیابی نماید. نانوامولسیون که یک خانواده از امولسیونها با اندازه قطرات در محدوده ۵۰-۵۰۰ نانومتر است، به دلیل خصوصیات و ویژگیهای منحصر به فرد، توجهات زیادی را در سالهای اخیر به خود معطوف داشته است. حضور اندازه قطرات بسیار کوچک فاز پراکنده در آنها باعث شده که پدیده جدا شدن فازها در این خانواده از مواد در کوتاه‌مدت روی ندهد [۱۷]. نانوامولسیونها حاوی مواد شیمیایی مورد مصرف در حوزه‌های نفتی بوده و در عملیات چاه، جهت بازداری از تشکیل رسوب، اسیدشویی و نیز پاک‌کننده و برطرف‌کننده رسوبات، کاربردهای وسیع و گسترده‌ای دارند. یکی از خصوصیات مهم نانوامولسیونها که علاقه‌مندی زیادی برای کاربرد آن در حوزه‌های نفتی وجود دارد، مقاومت عالی این مواد در برابر رسوبدهی و نیز تشکیل خامه^۱ است که می‌توان آن را به عدم جدا شدن فازها در تانک‌های ذخیره و یا در خلال انتقال از طریق خطوط تغذیه مواد شیمیایی مربوط دانست.

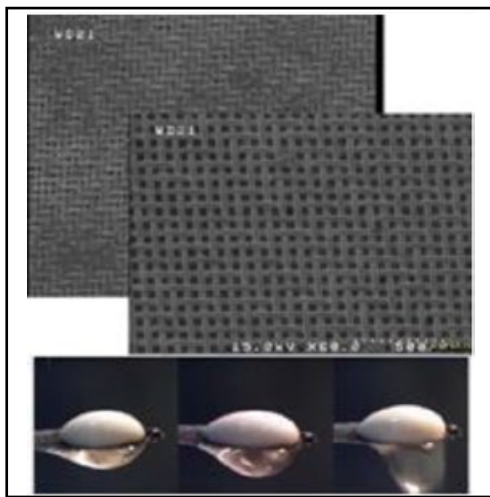
1. Creaming

اندازه قطرات نانوامولسیونها کوچکتر از روزنه ورود به منافذ در بستره‌های شنی و در سنگهای مخزن بوده که این، به معنی امکان نفوذ بسیار خوب امولسیون بدون نیاز به فیلتراسیون سیال است [۱۷]. در شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوامولسیون تهیه شده با مواد فعال سطحی نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوامولسیون تهیه شده با مواد فعال سطحی [۱۸]

توری نانولوله ای که در آن نانولوله های کربنی به‌طور عمود قرار گرفته باشند، میتواند برای جداسازی آب از نفت استفاده شود. از مزایای این فیلتر نانولوله ای این است که آب را از ترکیبات نفتی و روغنی با بازده بالا جدا میکند. از مزایای دیگر این فیلتر این است که به راحتی با استفاده از جاذبه زمین کار میکند و نیازی به دستگاه مکنده ندارد. این فیلتر برای بازیافت نفت های نشت کرده به دریا و جدا نمودن آبهای شور از نفت خام چاه های نفتی که نفت آنها با آب شور مخلوط شده است کاربرد دارد [۱۸]. در شکل ۲ نمونه ای از فیلتر که برای افزایش ضریب برداشت از مخازن نفت استفاده میشود، نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمونه ای از فیلتر نانولوله ای برای افزایش ضریب برداشت از مخازن نفت [۱۸]

۲-۳ استفاده از نانوفیلترها

نانوتکنولوژی دیدگاه های جدیدی جهت استخراج بهبود یافته نفت فراهم کرده است. این تکنولوژی به جدایش مؤثرتر نفت و آب کمک می کند. با استفاده از موادی در مقیاس نانو در میدانهای نفتی میتوان نفت بیشتری آزاد نمود. آب و مواد نفتی با هم مخلوط نمی شوند، ولی میتوانند به شدت در هم فروروند و جداسازی آن بسیار مشکل است. برای جداسازی آب از نفت روشهای مختلفی وجود دارد که به دلیل هزینه اجرایی بالا، بازده پایین و وسایل و تجهیزات بزرگ به صرفه نیستند. برای حل این مشکل میتوان از ترکیب نانولوله های کربنی و میکروتوری ها استفاده نمود. یک سطح فیلتری که دارای دو خاصیت ابر آب گریزی و ابر چربی دوستی باشد برای جداسازی آب و روغن مناسب است. چنین فیلتری را میتوان به وسیله انباشت نانولوله های کربنی چند دیواره بر روی توری فولاد زنگ نزن تولید کرد. مواد کربن دار دارای خاصیت چربی دوستی هستند و از این رو نانولوله های کربنی نیز به علت خاصیت موینگی دارای خاصیت چربی دوستی بالا است. همچنین تحقیقات نشان داده که افزایش زبری سطح باعث خاصیت آب گریزی میشود؛ بنابراین ساخت

۲-۴ استفاده از نانوزل ها و ژلهای نانوکامپوزیتی

یکی از عواملی که موجب کاهش تولید نفت میشود، تولید آب اضافی است. افزایش تولید آب در کنار محدود بودن ظرفیت فراورش تأسیسات بهره برداری، سبب کاهش راندمان تولید و حتی رها کردن چاه ها میگردد. از یک سو فرایند حذف آب تولیدی، هزینه قابل ملاحظه ای را به خود اختصاص می دهد و از سوی دیگر دفع این آبها به صورت غیراصولی، از نظر مسائل زیست محیطی مشکلات زیادی را به همراه دارد. یکی از شایع ترین دلایل افزایش تولید آب و گاز در چاه های نفتی افت فشار مخزن در اثر تولید و در نتیجه پایین آمدن سطح تماس گاز-نفت و بالا آمدن سطح آب - نفت است. یک روش های شیمیایی متداول برای جلوگیری از تولید آب اضافی در چاه های نفت و گاز، استفاده از ژل های پلیمری است که امروزه به علت هزینه اولیه





پایین و پایداری شیمیایی و حساسیت کم در برابر تخریب باکتریایی و ... مورد توجه قرار گرفته است. ژل‌ها برای بستن شکاف‌ها و نواحی با تراوایی بالا که در تولید آب اضافی نقش مهمی دارند، به کار می‌روند. به‌طور کلی در فرآیند تزریق ژل، ابتدا محلول ژلانت به درون سازند تزریق شده و بعد از تشکیل ژل در درون سازند، چاه دوباره به مدار تولید بازمی‌گردد. امروزه یکی از کاربردی‌ترین نوع ژل‌های پلیمری، ژل پلیمری پلی‌اکریل‌امید-کرومیوم استات است. مزیت‌های یاد شده از جمله هزینه پایین، دلیل استفاده از این ژل‌هاست. معایب این ژل‌ها پایین بودن استحکام مکانیکی در اثر اعمال تنش‌های مکانیکی هنگام فرایند تزریق از طریق پمپ و همچنین حین ورود به داخل سازند است. این تنش‌های مکانیکی، می‌توانند به شکستن زنجیرهای پلیمری و کاهش قابل توجه وزن مولکولی پلیمر منجر شوند؛ بنابراین محلول ژلانت که حاوی پلیمر و عامل شبکه ساز و حلال است، نمی‌تواند در داخل سازند به استحکام قابل توجهی برسد. در نتیجه زمانی که چاه به مدار تولید برمی‌گردد، سیستم ژل تشکیل شده با استحکام پایین به راحتی از داخل محیط متخلخل خارج شده و عملاً نمی‌تواند عملکرد مطلوبی در کاهش نفوذپذیری در سازند داشته باشد. این ژل‌ها در مقابل آب سازند آسیب‌پذیرند؛ زیرا آب سازند به دلیل دارا بودن مقدار زیادی یون‌های تک‌ظرفیتی و دو ظرفیتی باعث کاهش استحکام و از هم‌پاشیدگی ساختار ژل‌ها می‌شوند. به همین دلیل امروزه با افزودن ذرات معدنی در مقیاس نانومتر به ساختار پلیمر (کامپوزیت‌ها)، خواص استحکامی و دمایی آن را بهبود می‌بخشند [۱۹].

در حقیقت نانوکامپوزیت‌های پلیمری نسل جدیدی از موادی هستند که حاوی یک زمینه (ماتریس) پلیمری و درصد کمی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) از یک تقویت‌کننده نانومتری می‌باشند که با یک روش مناسب باهم آمیخته شده‌اند. ذرات نانو به علت داشتن ابعاد بسیار کوچک و سطح تماس بسیار بالا در میزان بارگذاری^۱ کمتری باعث بهبود خواص مورد نظر گردیده و مسائل مربوط به تقویت‌کننده‌های رایج، نظیر افزایش وزن، نقایص سطحی و مشکلات فرآیند پذیری در آن‌ها کمتر دیده می‌شود.

این سیستم‌های ژل شونده شامل یک پلیمر محلول در آب و یک یا چند عامل اصلی اتصال عرضی هستند، همچنین این نوع پلیمرها به دلیل ویسکوزیته مشابه آب با پمپ‌های معمولی قابل تزریق به مخازن هستند، این مواد با رسیدن به محل مورد نظر به یک توده سفت تبدیل می‌شوند و نقش خود را به‌عنوان عامل تغییردهنده مسیر یا مسدودکننده ایفا می‌کنند. در این روش به علت تشابه ویسکوزیته آب و ژل‌های پلیمری هزینه تزریق به چاه بسیار کمتر از سایر روش‌هاست، همچنین عمق نفوذ این نوع ژل‌ها به علت تشابه ساختاری با آب بسیار بیشتر از سیمان است؛ از سوی دیگر استحکام و ماندگاری این نوع ژل‌ها در قیاس با ژل‌های معمولی و در شرایط مشابه بیش از ده برابر است [۲۰].

به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در استفاده از ژل پلیمرهای موجود، نانوزلهای جدیدی بر پایه پلی‌اکریل‌امید-خاک رس (MMT) توسعه پیدا کردند و خواص آن‌ها به‌صورت آزمایشگاهی تست شده و جهت استفاده در سیلاب زنی پلیمری مورد استفاده قرار گرفتند. این گونه نانوزلهای مقایسه با ژل پلیمرهای معمولی نتایج مناسبی در تست‌های حرارتی، مقاومتی و مکانیکی از خود نشان دادند. این نانوزلهای می‌توانند از محلول آبی با غلظت کم تا یک جامد الاستیک طبقه بندی شوند و یا به عنوان عامل مسدودکننده شکافها و یا انواع منحرف کننده ها مورد استفاده قرار گیرند [۱۲].

۲-۵ استفاده از نانوحسگرها، نانوروبات‌ها و نانوردیابها
یکی از عملیات‌های مهم در بهره‌برداری از چاه‌ها ثبت اطلاعات دقیق از وضعیت چاه‌ها از قبیل فشار، دما و دبی در سرچاه و یا در ته چاه است. اطمینان از صحت عملکرد وسایل اندازه‌گیری اهمیت ویژه‌ای دارد [۳].

انواع خاصی از حسگرهای قابل اعتماد و ارزان، از فیبرهای نوری برای اندازه‌گیری فشار، دما، جریان نفت و امواج آکوستیک در چاه‌ها در حال توسعه هستند. این حسگرها به علت مزایایی نظیر اندازه کوچک، ایمنی در قبال تداخل الکترومغناطیسی، قابلیت کارایی در فشار و دمای بالا و محیط‌های دشوار، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از همه مهم‌تر اینکه، امکان جایگزینی و تعویض این حسگرها بدون دخالت در فرایند تولید نفت و با هزینه مناسب فراهم می‌شود. حسگرهای جدید از نظر تولید، بسیار مقرون به‌صرفه بوده و اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری را انجام می‌دهند. انتظار می‌رود که فناوری این حسگرها تولید نفت را با ارائه اندازه‌گیری‌های

1. Loading

دقیق و قابل اعتماد و کاهش ریسک‌های همراه با اکتشاف و حفاری نفت بهبود بخشد [۳].

کاربرد نانوروبات‌ها و تأثیرشان بر کاهش خطای نمودارگیری از دیگر مزیت‌های فناوری نانو است [۲۱].

نانوبات‌ها به ربات‌هایی گفته می‌شود که اولاً در ابعاد نانو ساخته شده باشند و یا اینکه ابعاد آن‌ها در اندازه‌های سانتی‌متری باشد، ولی اندازه اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها در ابعاد نانومتر باشد. دوم اینکه، این مجموعه متشکل از تعداد زیادی از نانوبات‌ها برنامه‌نویسی شده باشد و سوم اینکه، این اجزای نانومتری به وسیله قطعاتی در اندازه‌های بزرگ‌تر سرهم‌بندی شده باشند در ساختن این ربات‌ها عموماً از ترکیبات کربن به صورت نانوکامپوزیت‌های الماس / فولرین استفاده می‌شود. این انتخاب به دلیل دوام مکانیکی بالا و همچنین کندی فعالیت شیمیایی این نوع نانوکامپوزیت‌ها است [۲۲]. در شکل ۳ تصویر گرافیکی از یک نانوروبات نشان داده شده که با موی انسان مقایسه گردیده است.

با کمک این فناوری می‌توان اثرات محیطی مؤثر بر عملیات نمودارگیری را کاهش داد یا به حداقل رساند که این موضوع باعث شناخت و ارزیابی هرچه دقیق‌تر مهندسان مخزن از رفتار استاتیک و دینامیک مخزن منجر خواهد شد. همچنین تشخیص و بررسی بهتر روند حرکت و جابجایی سیالات تزریقی در مخازن نیز با استفاده از نانوردیاب‌ها امکان‌پذیر است [۲۱].



شکل ۳- در این شکل تصویر یک نانوروبات با موی انسان مقایسه شده است [۲۲]

۲-۶ استفاده از نانوکاتالیزورها

بهسازی نفت درجا و تبدیل آن به ترکیبات سبکتر به منظور کاهش گرانی سیال درون محیط متخلخل و سهولت در حرکت آن به سمت چاه‌های تولیدی می‌تواند به‌عنوان

روشی مؤثر در ازدیاد برداشت نفت‌های سنگین مورد استفاده قرار گیرد.

میتوان هیدروژن و کاتالیزور کلونیدی را همزمان و از طریق یک چاه تزریق نمود؛ در روش دیگر، ابتدا تزریق هیدروژن صورت گرفته و پس از گذشت مدت زمان کافی جهت نفوذ کامل هیدروژن به مناطق مختلف مخزن، مخلوط کاتالیزور تزریق می‌گردد. پس از انجام عملیات تزریق، زمان کافی برای تماس مخلوط تزریق‌شده با نفت مخزن و انجام واکنش‌های لازم جهت بهسازی نفت سنگین درجا از طریق فرآیند هیدروژنی شدن داده می‌شود. با نمونه‌برداری‌های متوالی از نفت تولیدی چاه و با توجه به دما، فشار و تخلخل سازند، میزان مناسب بودن گرانی نفت تولیدشده به منظور تولید اقتصادی آن سنجیده خواهد شد. مدت زمان لازم برای تماس مخلوط تزریقی با نفت مخزن که زمان "خیسش کاتالیزوری" نامیده می‌شود، بسته به شرایط مخزن و خواص نفت سنگین از کمتر از یک روز تا صدها روز متغیر است [۲۳].

۳- نتیجه‌گیری

افزایش راندمان تولید با اصلاح روش‌های ازدیاد برداشت درحالی‌که روند اکتشاف میداین نفتی جدید در حال کاهش است و بسیاری از میداین نفتی نیز در مراحل نهایی تولید خود قرار دارند، کاملاً بدیهی است؛ چرا که در بسیاری از مخازن جهان حدود دوسوم از نفت درجا را نمی‌توان به روش‌های متداول استخراج نمود. روش‌های بسیاری برای ازدیاد برداشت از مخازن نفتی وجود دارد که به دودسته کلی روش‌های حرارتی و غیرحرارتی تقسیم می‌شوند. در این مقاله تأثیر استفاده از نانوذرات، نانومولسیونها، نانوفیلترها، نانوزله‌ها، نانوحسگرها، نانوروبات‌ها، نانوردیاب‌ها و نانوکاتالیزورها در ازدیاد برداشت از مخازن نفتی بررسی شده است. نتایج تحقیقات مختلف حاکی از آن است که استفاده از فناوری نانو به طور مؤثری می‌تواند در ازدیاد برداشت نفت از مخازن مؤثر و کاربردی باشد. نانوذرات می‌توانند با تغییر در ترشوندگی سنگ مخزن، تأثیر بر ویسکوزیته، تغییر کشش سطحی سیال تزریقی و تأثیر بر امولسیونها موجب افزایش برداشت نفت سنگین گردد. نانومولسیونها نیز می‌توانند نفت‌های خام باقیمانده در قعر سنگ مخزن را بازایی نمایند. نانومولسیونها حاوی مواد شیمیایی مورد مصرف در حوزه‌های نفتی بوده و در عملیات چاه، جهت بازداری از تشکیل رسوب، اسیدشویی و نیز پاک‌کننده و برطرف‌کننده رسوبات، کاربردهای وسیع





Investigating the Use of Nanoparticles in Enhancing Oil Recovery, SPE 140744, 2010.

[7] R. Saidur, K.Y. Leong, H.A. Mohammad, A Review on Applications and Challenges of Nanofluids Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 1646–1668, 2011

[8] Shah, Rusheet D, application of nanoparticle saturated injectant gases for EOR of heavy oils, SPE-129539-STU, 2009.

[9] Y. H. Shokrlu, T. Babadagly, Effect of Nano Sized Metal on Viscosity Reduction of Heavy Oil/Bitumen during Termal Application s, CSUG/SPE137540, 2010.

[10] Munshi, A. M., Singh, V.N., Mukesh, Kumar, Singha, J.P., Effect of nanoparticle size on sessile droplet contact angle. J. Appl. Phys., 103, 084315, 2008.

[11] B. A. Suleimanov, F.S. Ismailov, E.F. Veliyev, Nanofluid for enhanced oil recovery, Journal of Petroleum Science and Engineering, 78, 431–437, 2011.

[۱۲] فایزه تار، مهدی عطاپور، کاربرد نانوفناوری در تولید و استخراج نفت و گاز، سایت سیستم جامع آموزشی فناوری نانو زیر نظر ستاد توسعه فناوری نانو به آدرس:

http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id114=

[13] T. Zhang, A. Davidson, S. L. Bryant and Ch. Huh, Nanoparticle- Stabilized Emulsions for Applications in Enhanced Oil Recovery, SPE 129885, 2010.

[14] F. Qiu, D. Mamora, Experimental Study of Solvent- Based Emulsion Injection to Enhance Heavy Oil Recovery In Alaska North Slope Area, CSUG SPE 136758, 2010.

[15] F. Qiu, The Potential Applications in

و گسترده ای دارند. یکی از عواملی که موجب کاهش تولید نفت میشود، تولید آب اضافی است. برای جداسازی آب از نفت روشهای مختلفی وجود دارد که به دلیل هزینه اجرایی بالا، بازده پایین و وسایل و تجهیزات بزرگ به صرفه نیستند. برای حل این مشکل میتوان از ترکیب نانولوله های کربنی و میکروتوری ها استفاده نمود. همچنین میتوان از ژل های پلیمری که امروزه به علت هزینه اولیه پایین و پایداری شیمیایی و حساسیت کم در برابر تخریب باکتریایی و ... مورد توجه قرار گرفته است، استفاده کرد. نانوکامپوزیت ژل ها برای بستن شکاف ها و نواحی با تراوایی بالا که در تولید آب اضافی نقش مهمی دارند، به کار میروند. بهسازی نفت درجا و تبدیل آن به ترکیبات سبکتر به منظور کاهش گرانیروی سیال درون محیط متخلخل و سهولت در حرکت آن به سمت چاههای تولیدی میتواند به عنوان روشی مؤثر در ازدیاد برداشت نفتهای سنگین باشد، که برای این مهم میتوان از نانوکاتالیزرها بهره جست. همچنین از آنونوحسگرها، نانوروباتها و نانوردیابها میتوان برای ثبت اطلاعات دقیق از وضعیت چاهها از قبیل فشار، دما و دبی در سرچاه و یا در ته چاه استفاده کرد.

۴- منابع

[1] X. kong, M. M. Ohadi, Applications of Micro and Nano Technologies in the Oil and Gas Industry- An Overview of the Recent Progress, SPE 138241, 2010.

[۲] قلیاقلی زاده مریم، روش های ازدیاد برداشت از مخازن سنگین، اکتشاف و تولید، شماره ۵۴، ۲۰-۲۱، ۱۳۸۷.

[۳] احمدپورعلی، پیرمرادی هادی، مروری بر کاربردهای فناوری نانو در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی. فرایند نو، شماره ۱۸، ۶۰-۵۲، ۱۳۸۷.

[4] Z. Ghajari, The Effect of Nanoparticles on Reservoirs Wettability and Enhanced Oil Recovery.

[5] Binshan. Ju, Tailiang. Fan and Mingxue. Ma, Enhanced Oil Recovery by Flooding With Hydrophilic Nanoparticles, China Particuology, Vol. 4, No. 1, 41-46, 2006.

[6] M. O. Onyekonwu and N. A. Ogolo,

Heavy Oil EOR With the Nanoparticle and Surfactant Stabilized Solvent-Based Emulsion, CSUG SPE 134613, 2010.

[16] T. Zhang, M. R. Roberts, S. L. Bryant and Ch. Huh, "Foams and Emulsions Stabilized With Nanoparticles for Potential Conformance Control Applications", SPE 121744, 2009.

[۱۷] نعلبندی احمد، خلیلی علی اصغر. بررسی آزمایشگاهی سیلاب‌زنی محیط‌های متخلخل نفتی با نانوامولسیون. ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، (۱۰۸): ۶۰-۵۴، ۱۳۹۲.

[۱۸] گزارش خبری سایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو با عنوان «ساخت و به کارگیری نانوفیلترها برای افزایش ضریب برداشت از مخازن نفت» به آدرس:

http://www.nano.ir/index.php?ctrl=proposal&actn=proposal_info&id&174=lang1=

[۱۹] بهرامیان، ب.؛ موسوی مقدم، ع.؛ همتی م.، وفايي سفتي م.، دادوند کوهي ا.؛ بررسی تاثیر نانورس مونت موریلونیت بر ژل پلیمرهای مورد استفاده در عولیات انسداد آب در مخازن نفت؛ اکتشاف و تولید، شماره ۶۸، ۵۲-۵۶، ۱۳۸۹.

[۲۰] فایزه تاري، مهدي عطاپور، کاربرد نانوفناوري در ازدیاد برداشت نفت و گاز، سایت سیستم جامع آموزشی فناوری نانو زیر نظر ستاد توسعه فناوری نانو به آدرس:

http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id115=

[۲۱] میاحی ناصر، میاحی منصور. بررسی کاربردهای فناوری نانو در بخش بالادستی صنعت نفت و ارائه راهکارهایی با هدف کاهش مشکلات اساسی و نیازهای کوتاه‌مدت ایران در این بخش. ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، (۱۰۷): ۳۹-۳۲، ۱۳۹۲.

[۲۲] مسلم دلشاد، ترجمه، نانوپناه پیمایی؛ استفاده از نانوروبات‌ها در عملیات چاه پیمایی، سال هشتم، شماره ۹، پیاپی ۱۴۶، ۴۵-۴۷، ۱۳۸۸.

[۲۳] محمدی، صابر و علی قجری، کاربردهای فناوری نانو در ازدیاد برداشت نفت، دومین همایش مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع مرتبط، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا، ۱۳۹۲.



Application of Nanotechnology in Enhanced Oil Recovery (EOR)

A. Naderi*1, E. Shekarian2

1- National Iranian Oil Company, East Oil and Gas Production Company

2- Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Azadshahr Branch,
Islamic Azad University, Azadshahr, Iran
a.naderi1378@gmail.com

Abstract

Due to the growing demand in the oil industry, the application of enhanced oil recovery (EOR) techniques for oil reservoirs to meet the needs of communities is essential. nowadays, nanotechnology is growing rapidly and it contribute significantly to the technological advances in many industries and in various oil and gas fields such as exploration, drilling, enhanced oil recovery and refining and distribution. In this paper, the effect of nanoparticles, nanoemulsions, nanofilters, nanogels, nanosensors, nanorobots, and nanocatalysts in enhanced oil recovery and oil reservoirs progress and new achievements in this field are discussed. The results show that, nanotechnology has the potential to change the common methods of EOR by improving geomechanics of the reservoir and surface tension alongside modification of oil reservoirs. Today, this subject has attracted the attention of many researchers.

Keywords: Oil, Nanotechnology, EOR, Smart Fluids, Viscosity

